

(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

(12) Offenlegungsschrift  
(10) DE 198 30 990 A 1

(5) Int. Cl. 7:  
G 02 F 1/035  
G 02 B 6/14  
H 04 B 10/135  
// H04J 14/02

(21) Aktenzeichen: 198 30 990.2  
(22) Anmeldetag: 10. 7. 1998  
(43) Offenlegungstag: 20. 1. 2000

(71) Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

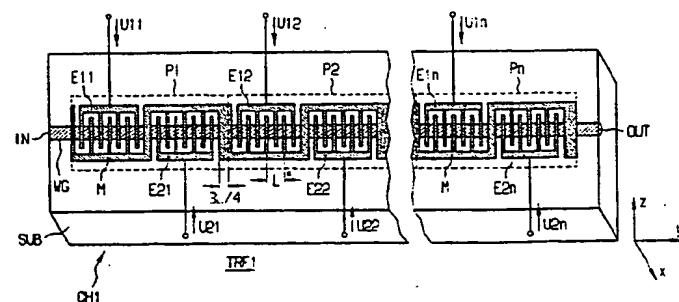
(72) Erfinder:  
Noe, Reinhold, Dr.-Ing., 33100 Paderborn, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Polarisationstransformator

(57) Der Polarisationstransformator (TRF1) auf doppelbrechendem Substratmaterial (SUB) weist eine größere Anzahl von Zellen ( $P_i$ ) mit jeweils zwei Modenwandler-Elektroden ( $E_{ij}$ ,  $i = 1, 2; j = 1, 2, \dots, n$ ) auf, die individuell oder in mehr als zwei Gruppen individuell ansteuerbar sind, so daß Polarisationsmodendispersion kompensiert werden kann.



DE 198 30 990 A 1

BEST AVAILABLE COPY

## Beschreibung

In der optischen Übertragungstechnik werden möglichst lange Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecken verwendet. Die Lichtwellenleiter sind herstellungsbedingt nicht vollständig isotrop. Wegen der langen Übertragungsstrecken ergibt sich durch Doppelbrechung der übertragenen optischen Signale eine frequenzabhängige Polarisationstransformation – Polarisationsmodendispersions oder kurz Polarisationsdispersion PMD genannt. Diese führt durch Änderung der Polarisation und der dadurch bedingten unterschiedlichen frequenzabhängigen Läufzeiten zur Verbreiterung gesendeter Impulse, wodurch emsangsseitig deren Erkennbarkeit reduziert und dadurch die übertragbare Datenrate begrenzt wird.

Die Polarisationsmodendispersion ist zudem von der Temperatur oder von mechanischer Beanspruchung abhängig. Deshalb werden adaptiv PMD-Kompensatoren benötigt, die in den Übertragungspfad eingefügt werden. Ein PMD-Kompensator soll bei mindestens einer optischen Trägerfrequenz im Bereich des Übertragungsbandes das Polarisationsübertragungsverhalten des Gesamtsystems von Übertragungsstrecke und Kompensator näherungsweise (in erster oder ggf. auch höherer Ordnung) frequenzunabhängig machen. Dadurch können modulierte Signale verzerrungsfrei übertragen werden.

Im Wellenlängenmultiplexbetrieb WDM ist es anzustreben, diese Frequenzunabhängigkeit bei den einzelnen Übertragungsbändern (Übertragungswellenlängen), zumindest in jedem der einzelnen Kanäle zu erreichen. Anforderungen an einen solchen Transformator/Kompensator sind niedrige Einfügedämpfung, Kompatibilität zu Lichtwellenleitern, d. h. niedrige Koppeldämpfung und mechanische Kompatibilität, und ein möglichst variables veränderbares und frequenzabhängiges Polarisationsverhalten.

Zum Entwickeln von PMD-Kompensatoren und zum Prüfen der PMD-Toleranz nicht kompensierter Übertragungssysteme werden variabel einstellbare aber trotzdem kostengünstige und dämpfungsarme PMD-Emulatoren gebraucht, welche das frequenzabhängige Polarisationsübertragungsverhalten von Lichtwellenleiter-Strecken bis zu mehreren tausend Kilometern Länge unter den unterschiedlichsten Bedingungen (beispielsweise bei Temperaturschwankungen) in signifikanter Weise nachbilden können.

Zur Kompensation von PMD eignen sich Kompensatoren, welche die inversen Übertragungseigenschaften einer Übertragungsstrecke aufweisen. Aus der Literatur sind Kompensatoren bekannt, die durch Retarder/Polarisationsrotatoren realisiert sind, die zwischen stärker doppelbrechenden LWL-Stücken angeordnet sind. Retarder ist ein Oberbegriff für optische Übertragungsglieder, die zwei zueinander orthogonale Eigenmoden unverändert und mit gleicher, im Idealfall verschwindender Dämpfung, jedoch mit im allgemeinen unterschiedlichen Phasenverzögerungen übertragen.

Die stark doppelbrechenden LWL-Abschnitte erhalten oder bewahren zwei zueinander orthogonale Hauptpolarisationen und sind daher polarisationserhaltende Lichtwellenleiter PMF (polarization maintaining fiber). Diese PMFs sind stark polarisationsdispersiv, d. h. unterschiedliche Polarisatoren führen zu stark unterschiedlichen Laufzeiten. Ein entsprechendes Beispiel ist im Tagungsband zur "Optical Fiber Communication Conference", 1995, OFC'95, der Optical Society of America als Beitrag WQ2 auf Seite 190 bis 192 beschrieben.

Im "IEEE Journal of Quantum Electronics", Band 18, Nr. 4, April 1982, Seite 767 bis 771 ist ein integrierter optischer Einscienbandmodulator und Phasenschieber beschrieben.

Dieser enthält auf einem Lithiumniobat-Substrat eine sich über den Chip hinziehenden kammförmige Masse-Elektrode und in Reihe liegenden kammförmige Elektroden, deren Zinken mit den Zinken der Masseelektrode verschachtelt sind und von denen jeweils jede zweite mit einer ersten Steuerspannung bzw. zweiten Steuerspannung verbunden ist. Bei diesem Polarisationstransformator können nur die TE-TM-Modenwandlung mit  $\pm 45^\circ$  linear bzw. mit zirkular polarisierten Eigenmoden vorgegeben werden. Der Anteil an TE-TM-Phasenverschiebung ist hier durch Chiplänge und -temperatur vorgegeben und kann nicht durch eine elektrische Spannung verändert werden. Nachteil auch dieser Anordnung ist, daß eine vorgegebene Polarisationstransformation nur für eine bestimmte optische Frequenz wirksam wird, die Frequenzabhängigkeit von Polarisationstransformatoren also nicht frei vorgegeben werden kann.

In "IEEE Journal of Quantum Electronics", Band 25, Nr. 8, 8. August 1989, Seite 1898 bis 1906 ist ein integrierter optischer Polarisationstransformator beschrieben, der als Substrat Lithiumniobat  $\text{LiNbO}_3$  oder Lithiumtantalat  $\text{Li}-\text{TAO}_3$  verwendet. Dieser benötigt nur drei verschiedene Steuerspannungen, eine Phasenschieberspannung und zwei Modenwandlerspannungen, um eine gewünschte Polarisationsänderung zu bewirken. Die Phasenschieberspannung bewirkt eine Phasenverzögerung zwischen TE(transversal elektrischen)- und TM(transversal magnetischen)-Wellen; diese sind gleichzeitig die Eigenmoden. Eine der beiden Modenwandlerspannungen bewirkt eine TE-TM-Modenwandlung mit linearer Polarisation mit  $\pm 45^\circ$  Erhebungswinkel als Eigenmoden, die andere bewirkt eine TE-TM-Modenwandlung mit zirkulären Polarisatoren als Eigenmoden. Eine vorgegebene Polarisationstransformation wird jedoch nur für eine bestimmte optische Frequenz wirksam. Bei anderen optischen Frequenzen ergibt sich die Polarisationstransformation in Abhängigkeit der für diese bestimmte optische Frequenz eingestellten Polarisationstransformation.

Eine zufriedenstellende PMD-Kompensation ist durch keine der bekannten Anordnungen möglich.

In Electronic Letters, 17. Februar 1994, Band 30, Nr. 4, Seite 348 bis 349 ist ebenfalls ein Verfahren zur PMD-Kompensation beschrieben. Auch hier werden mehrere Abschnitte PMF verwendet, die durch Polarisationstransformatoren verbunden sind. Die auftretende Dämpfung dürfte wegen der notwendigen Spleißverbindungen sehr hoch sein.

Hier ist auch der Anschluß eines PMD-Kompensators an einen optischen Empfänger und die Gewinnung eines Regelkriteriums zur Einstellung des Kompensators beschrieben.

In der Praxis beschränken sich die in den genannten Literaturstellen beschriebenen Kompensatoren auf sehr wenige Abschnitte PMF. Dadurch kann es bei der Optimierung des Regelkriteriums zu einem Nebenoptimum kommen, so daß der Kompensator nicht optimal eingestellt wird.

In der deutschen Patentanmeldung Aktenzeichen: 198 16 178.6 ist ein PMD-Kompensator beschrieben, der nur aus PMF's besteht. Allerdings werden mechanisch bewegte Teile benötigt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen Polarisationstransformator anzugeben, der über zahlreiche Einstellmöglichkeiten verfügt und innerhalb des genutzten Übertragungsbandes möglichst beliebige frequenzabhängige Polarisationstransformationen zum Zweck der gezielten Erzeugung von PMD ermöglicht.

Der PMD-Transformator soll sowohl als Kompensator als auch als Emulator einsetzbar sein.

Vorteil des erfundungsgemäßen Polarisationstransformators liegt in der universellen Anwendbarkeit. Das durch viele Parameter bestimmte Phänomen Polarisationsmoden-

dispersion kann prinzipiell auch nur durch geeignete Einstellmöglichkeiten entsprechend vieler Freiheitsgrade kompensiert werden. Durch die individuellen Steuerspannungen können so viele unterschiedliche frequenzabhängige Polarisationstransformationen eingestellt und im Betrieb durchgeführt werden, daß beliebige PMD auch höherer als erster Ordnung mit sehr hoher Genauigkeit gebildet werden kann, sowohl zum Zwecke der PMD-Kompensation, als auch der PMD-Emulation.

Weitere Vorteile sind die bei integrierten optischen Bauelementen übliche kleine Baugröße und die Tatsache, daß im erfundsgemäßen Polarisationstransformator die Funktionen der Polarisationstransformation und der Erzeugung unterschiedlicher Laufzeiten für unterschiedliche Polarisationen auf einem Bauelement integriert werden können.

Varianten des Polarisationstransformators ermöglichen noch kompaktere Bauweisen.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 den Aufbau eines erfundsgemäßen Polarisationstransformators.

Fig. 2 eine Variante mit sich überkreuzenden elektrischen Leitungen.

Fig. 3 eine Variante mit senkrecht zur Wellenleiterrichtung verlaufenden elektrischen Feldern und

Fig. 4 eine Variante mit gefaltetem Strahlengang,

Fig. 5 einen adaptiven Kompensator und

Fig. 6 einen Emulator.

Fig. 1 zeigt einen erfundsgemäßen Polarisationstransformator TRF1. Dieser ist als Chip CH1 mit einem Lithiumniobat-Substrat SUB realisiert. Andere in Frage kommende Materialien sind Lithiumtantalat oder ähnliche hoch doppelbrechende Materialien.

Die kristallographischen Achsen Y und Z liegen in der Zeichenebene, die kristallographische Achse X geht in die Zeichenebene hinein. Auf der Oberfläche des Kristalls ist ein Wellenleiter WG durch TitanDiffusion realisiert. Der Wellenleiter WG ist einmodig, so daß TE(transversal-elektrische)- und TM(transversal-magnetische)-Wellen sich mit einer Brechzahlendifferenz von etwa 0,07 ausbreiten können.

Auf der Oberfläche des Substrats SUB sind elektrisch leitfähige Interdigital-Elektroden aufgedampft, die die Form eines Kamms aufweisen, dessen Zinken (Stichleitungen, Finger) quer zum Wellenleiter angeordnet sind. Eine Elektrode M mit ebenfalls quer zum Wellenleiter angeordneten Zinken verläuft mäanderförmig über den gesamten Chip und kann an Masse gelegt werden (Masse-Elektrode). Die anderen kammförmigen Modenwandler-Elektroden Eij ( $i = 1, 2; j = 1, 2, \dots, n$ ) sind voneinander elektrisch isoliert. Eine Spannung  $U_{ij}$  an einer Elektrode erzeugt ein elektrisches Feld im Wellenleiter WG, das periodisch in Ausbreitungsrichtung Y oder entgegengesetzt hierzu verläuft. Direkt unter den Elektroden verläuft es periodisch in Richtung X oder entgegengesetzt hierzu. Die optische Welle durchläuft den Chip vom Eingang IN zum Ausgang OUT. Die Periodenlänge L zwischen den einzelnen Elektrodenzinken ist etwa gleich einer Schwebungswellenlänge zwischen TE- und TM-Welle gewählt. Eine Schwebungswellenlänge ist diejenige Länge, bei der der Retarder mit TE- und TM-Wellen als Eigenmoden gerade eine Phasenverzögerung von  $360^\circ$  zwischen diesen Eigenmoden aufweist. Bei Mischpolarisationen wiederholen diese sich deshalb periodisch in Abständen von Vielfachen einer Schwebungswellenlänge. Bei einer optischen Wellenlänge von 1550 nm (Nanometer) entspricht die Schwebungswellenlänge im Lithiumniobat etwa 21 µm. Die Zinkenbreite (Fingerbreite) und die Elektrodenabstände werden deshalb zweckmäßigerverweise jeweils etwa gleich  $L/4$

gewählt. Damit erhält man eine gleichförmige Struktur, in welcher Zinkenbreiten und Zwischenräumen gleich groß sind. Um eine TE-TM-Konversion mit variabler Phase durchführen zu können, sind jeweils nach einigen Zinkenperioden zusätzliche Abstände von abwechselnd etwa  $L/4$  und  $3L/4$  vorgesehen. Damit erhält man Phasenverzögerungen zwischen TE- und TM-Wellen von  $90^\circ$  bzw.  $270^\circ$  – durch letztere wird die erstere wieder rückgängig gemacht –, so daß sich TE-TM-Wandlung mit unterschiedlichem Phasen-

10 winkel auswirkt. Dies wird jetzt näher erläutert: Bei einer reinen TE-Welle am Eingang des Polarisationstransformators oder eines Teils davon ergibt sich auch am Ausgang eine reine TE-Welle. Für geeignet gewählte Ansteuerspannungen werde die eingangsseitige TE-Welle in eine reine TM-Welle gewandelt. Verkleinerst man diese Ansteuerspannungen, so ergibt sich am Ausgang eine Mischung aus TE- und TM-Wellen, deren Phasenunterschied frei wählbar ist. Insbesondere ergibt sich bei etwa halbireten Ansteuerspannungen ein Ausgangspolarisationszustand, der zwischen 15 45° linear, rechtszirkular, -45° linear, linkszirkular und wiederum 45° linear einstellbar ist.

Die Masse-Elektrode M hat an diesen Stellen jeweils eine Gesamtbreite von etwa  $L/2$ , bzw. L (Die Masse-Elektrode zwischen den Moden-Elektroden und Zellen könnte im Prinzip auch schmäler gemacht werden oder durch Bonddrähte 20 ersetzt werden).

Jeweils (mindestens) zwei Modenwandler-Elektroden E1j und E2j, ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) einschließlich des zugeordneten, in Elektroden E1j bzw. E2j verzahnten Masse-Elektroden-

30 Segments können als Zellen Pj aufgefaßt werden. Im Ausführungsbeispiel sind n Zellen vorgesehen, wobei als Anzahl n Werte von ca. 25 bis 50 realistisch sind. Die Spannungen an den Elektroden E1j und E2j der Zellen sind jedoch nicht jeweils identisch oder, wie in Proc. 4th European Conference on Integrated Optics (ECIO '87), Glasgow, UK, 11.-13.05.1987, S. 115-118 beschrieben als Funktion der longitudinalen Ortskoordinate sinusförmig variabel, sondern individuell oder in Gruppen frei einstellbar. Beispielsweise können Elektrodenspannungen von  $U_{1j}, U_{1(j+1)}, U_{1(j+2)}, \dots$  bis  $U_{1(j+9)}$ , ( $j = 1, 11, 21, \dots$ ) identisch sein, ebenso die Elektrodenspannungen  $U_{2j}, U_{2(j+1)}, U_{2(j+2)}, \dots$  bis  $U_{2(j+9)}$ , ( $j = 1, 11, 21, \dots$ ). Es werden also in diesem Beispiel die Elektroden des Typs E1j von jeweils zehn benachbarten Zellen mit der gleichen Spannung versorgt, ebenso die Elektroden des Typs E2j von jeweils zehn benachbarten Zellen. Dies ist durch leitende Verbindungen zwischen den Elektroden leicht zu realisieren. Eine Grenze der Variabilität des PMD-Kompensators bildet die Spannungsfestigkeit der Elektrodenzwischenräume. Idealerweise sollten Polarisationstransformationen auf beliebig kurzer Länge ausgeführt werden können, wodurch aber entsprechend hohe Spannungen erforderlich sind. Daher ist bei der Herstellung auf hohe Spannungsfestigkeit zu achten. Diese kann beispielsweise durch Aufbringen von Isolierschichten 45 auf die Kristalloberfläche erfolgen.

Während beim Stande der Technik durch zwei wählbare Modenwandlerspannungen nur eine Polarisationstransformation, welche zwei Freiheitsgrade besitzt, für eine optische Frequenz spezifiziert werden kann, während die Polarisationstransformationen für alle anderen optischen Frequenzen sich daraus ergeben, sind erfundsgemäß durch Kaskadierung mehrerer Zellen oder Zellengruppen, die individuell oder gruppenindividuell mit i. a. je zwei wählbaren Modenwandlerspannungen angesteuert werden können. Polarisationstransformationen bei niedrigeren optischen Frequenzen in weiten Grenzen unabhängig voneinander vorgebar. Dies gilt auch für die weiteren Ausführungsbeispiele der Erfindung, wobei in dem in Fig. 3 dargestellten Beispiel statt

zwei jeweils drei Freiheitsgrade und Ansteuerspannungen vorgesehen sind.

Falls man bereit ist, eine kompliziertere Verdrahtung auf dem Chip in Kauf zu nehmen, beispielsweise durch Überkreuzung elektrischer Leitungen, so kann mittels isolierender Zwischenschichten die Variante TRF2 nach Fig. 2 realisiert werden. Die Zinken der Moden-Elektroden E11 und E12; E21 und E22, ... bis En1 und En2 liegen hier jeweils nacheinander zwischen zwei Zinken der Masse-Elektrode M. Bei gleicher Maximalstärke des longitudinalen elektrischen Feldes kann diese Variante Polarisationstransformationen auf einer etwas kürzeren Strecke ausführen als der Polarisationstransformator nach Fig. 1 und bietet daher eine größere Variabilität der Polarisationstransformation bei gleicher Gesamtlänge des Chips CH2. Die Periodizität der Elektrodenzinken beträgt weiterhin L. Deren Breite und die Abstände betragen etwa L/6. Es ist nicht erforderlich, größere Abstände bzw. Breiten der Masse-Elektrode einzuführen.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel TRF3 des Transformators ist in Fig. 3 dargestellt. Es kann auch vorteilhaft sein, eine transversalelektrische-transversalmagnetische Phasenverschiebung, wie aus "IEEE Journal of Quantum Electronics", Band 25, Nr. 8, Seite 1898 bis 1906 bekannt, durch senkrecht zum Wellenleiter entlang der kristallographischen Z-Achse verlaufende elektrische Felder einzubringen. Vorteilhaft ist die dadurch erzielbare, durch drei Freiheitsgrade gekennzeichnete elliptische Polarisationstransformation, welche bei der Kompensation von PMD ein etwas leichter zu beherrschendes Regelverhalten bewirken kann, nachteilig sind dagegen die kleineren elektrooptischen Koeffizienten, die nur geringere Phasenverschiebungen ermöglichen. Die Zellen PPj ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) des Chips CH3 enthalten ebenfalls Modenwandler-Elektroden E11, E21, ..., die mit Spannungen U11, U21, ... angesteuert werden. Zwischen den Modenwandler-Elektroden sind Phasenschieber-Elektroden EP1, ... angeordnet, die mit Spannungen U3j ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) angesteuert werden. Die Phasenschieberelektroden haben unterschiedliche Längen, die jeweils ein ganzzahliges Vielfaches der Schwingwellenlänge um ein Viertel der Schwingwellenlänge über- oder unterschreiten, also  $L(N+1/4)$  oder  $L(K-1/4)$ ,  $N, K = 1, 2, 3, \dots$ . Auf diese Weise bilden, wie schon in Fig. 1, die Elektroden zwei Gruppen, welche jeweils TEM-Wandlung mit gleicher Phase bewirken. Bei Bedarf können deshalb einige an einer Gruppe Elektroden benachbarter Zellenanliegende Spannungen, also beispielsweise U1, 1 bis U1, 10, U1, 11 bis U1, 20, ..., also U1j bis U1(j+9),  $j = 1, 11, 21, \dots$  identisch sein, ebenso die Spannungen U2j bis U2(j+9),  $(j = 1, 11, 21, \dots)$ . Sofern man diesen Vorteil nicht wahrnehmen möchte, können alle Elektroden, wie auch in Fig. 1 oder 2 möglich, individuell angesteuert werden.

Fig. 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel TRF4 des Polarisationstransformators mit einem gefalteten Strahlengang des Wellenleiters WG. Die Enden eines Chips CH4 sind mit metallischen oder dielektrischen Spiegeln MI versehen. Kurz vor dem Auftreffen auf einen Spiegel ist der Wellenleiter WG gekrümmt, so daß eine möglichst ideale Reflexion und Einspeisung in den nächsten Abschnitt erfolgt. Die Verspiegelung kann durch Koppler ersetzt werden, in deren Mitte sich der Spiegel befindet. Dies setzt die Anforderungen an die Genauigkeit der longitudinalen Position der Spiegel MI herab, bewirkt aber bei nicht exakter Herstellung stärkere unerwünschte Reflexionen.

Im Bereich des Eingangs IN und des Ausgangs OUT sind die Wellenleiter-Enden unter einem Winkel von z. B.  $6^\circ$  bis  $8^\circ$  abgeschnitten, so daß ein sehr reflexionsarmer Übergang zwischen dem Wellenleiter WG und einem externen Quarz-

glas-Wellenleiter erfolgen kann. Das schräge Abschneiden könnte auch bei den Chips der Fig. 1 bis 3 eingesetzt werden. Auch sind andere reflexionsarme Übergänge wie eine dielektrische Entspiegelung möglich. Die einzelnen Zellen P1, P2, Pj, Pn können wie in den Fig. 1 bis 3 gestaltet sein.

Zu ergänzen ist noch, daß auch die Möglichkeit besteht, durch Temperaturänderung des Chips das Transformationsverhalten zu ändern. Wenn dieser Effekt nicht gewünscht wird, ist daher die Temperatur des Chips konstant zu halten oder durch die Einbeziehung in eine Regelung zu berücksichtigen.

Fig. 5 zeigt die Verwendung des Polarisationstransformators TR in einem adaptiven PMD-Kompensator. Es ist eine Übertragungsstrecke mit einem optischen Sender TR, einer mit einem Lichtwellenleiter LWL realisierten Übertragungsstrecke und einem optischen Empfänger RX dargestellt. Der Empfänger enthält eine Photodiode PD, der ein Entscheider DFF nachgeschaltet ist. Beim Ausgang OD des Entscheiders wird das übertragene Datensignal abgegeben.

Der Photodiode ist der Polarisationstransformator zur Kompensation der Polarisationsmodendispersion vorgeschaltet. Weitere Details wie Verstärker wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Das Regelkriterium wird beispielsweise aus dem am Ausgang der Photodiode abgegebenen Basisbandsignal BB gewonnen. Dies erfolgt beispielsweise über ein Filter FI1, das als Bandpass mit einer Resonanzfrequenz von etwa der halben Symbolrate der übertragenen (binären) Daten ausgebildet ist. Dies ist dann zweckmäßig, wenn die maximal auftretenden PMD-Werte geringer als eine Symboldauer des Datensignals sind. Das Filter kann aber auch als Tiefpassfilter ausgebildet sein, dessen Grenzfrequenz ca. 1/10 bis 1/4 der Symbolrate beträgt. Damit lassen sich auch größere PMD-Werte eindeutig detektieren. Hinter dem Filter ist ein erster Detektor DET1 angebracht, beispielsweise ein Gleichrichter. Die so gewonnene Detektorausgangsspannung U1 wird einem Regler MP zugeführt, vorzugsweise einem Mikroprozessor mit Analog-Digital- und Digital-Analog-Wandlern, sowie Operationsverstärkern zur Ansteuerung des Polarisationstransformators.

Um sowohl kleine als auch große PMD-Werte eindeutig detektieren zu können, können auch weitere Filter und Detektoren FI2 und DET2 vorgesehen werden.

Bei Verwendung des Bandpassfilters wird die Ausgangsspannung U1 dann maximal, wenn die Augenöffnung des Basisbandsignals BB maximal ist. Dies entspricht im Fall einer unverzerrten optimalen Übertragung. Auch bei der Verwendung eines Tiefpassfilters wird die Detektorausgangsspannung U2 maximal, wenn die Augenöffnung des Basisbandsignals maximal ist.

Ausgangssignale des Reglers sind die Spannungen Uij ( $i = 1, 2, 3; j = 1, 2, \dots, n$ ), die der Polarisationstransformator benötigt. Der Regler MP variiert die Spannungen Uij einzeln oder in Gruppen. Es werden diejenigen Spannungen beibehalten, durch die sich die größtmöglichen Detektorausgangsspannungen erzielen lassen. Auf diese Weise wird die Polarisationsmodendispersion der Übertragungsstrecke durch den Polarisationstransformator optimal kompensiert.

Der Einsatz des Polarisationstransformators als Emulator EMU ist in Fig. 6 dargestellt. Über eine Einstelleinrichtung ER erhält ein Mikroprozessor MP1 Signale, die er in entsprechende Steuerspannungen Uij umsetzt. Die Steuerspannungen Uij könnten in einer einfachen Version auch durch Potentiometer eingestellt werden.

Die von dem Sender TR eingespeisten optischen Signale werden transformiert am Ausgang OE eines Verstärkers OV abgegeben.

## Patentansprüche

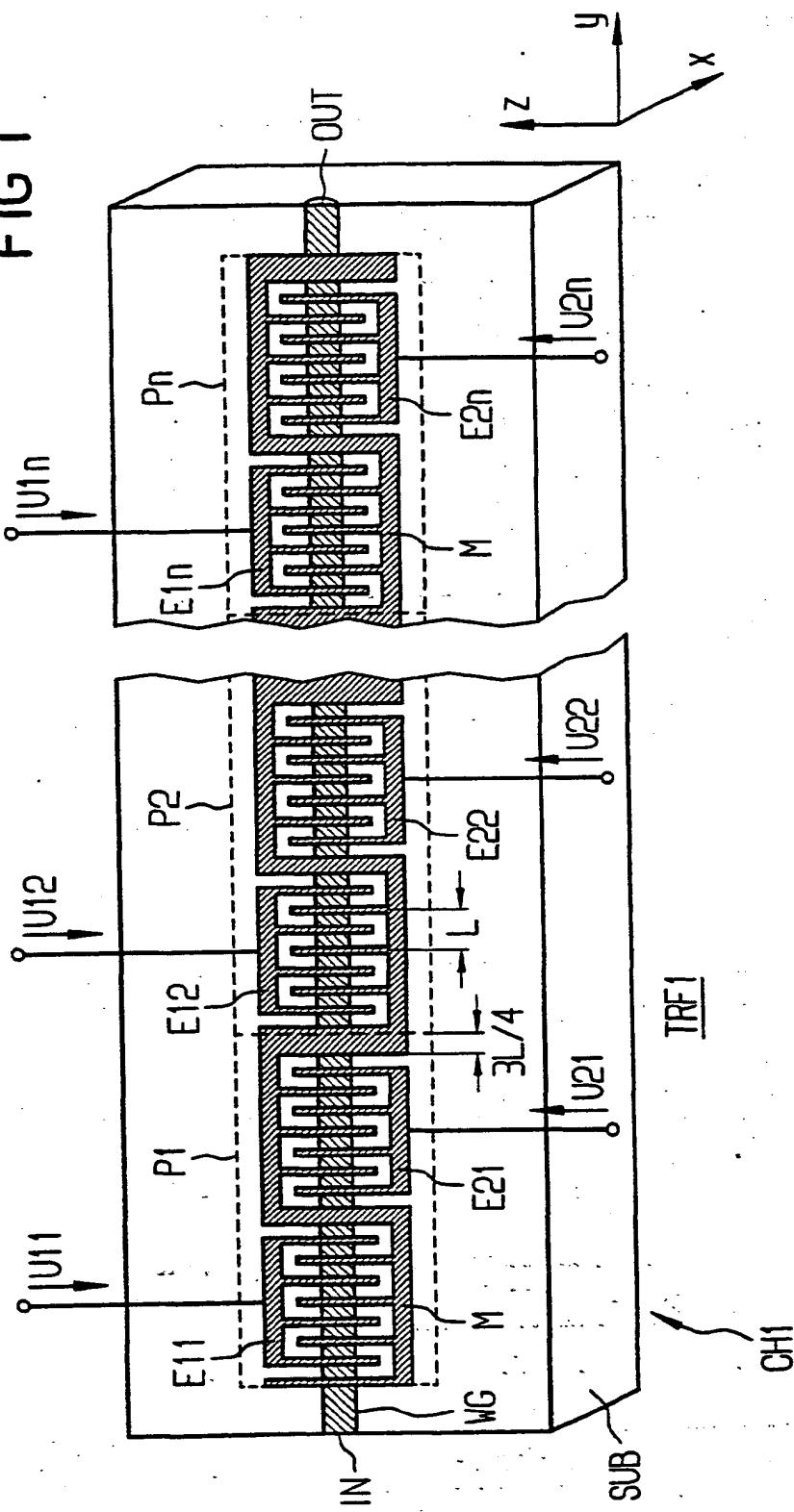
1. Polarisationstransformator (TRF1-TRF4) auf einem Substrat (SUB) aus doppelbrechendem Material, das einen Wellenleiter (WG) aufweist, mit aus kammerartigen Modenwandler-Elektroden (E11, E21, ...), deren Zinken quer zum Wellenleiter (WG) verlaufen, gebildeten Modenwandlern (P1, ..., Pj, ..., Pn, ...), wobei die Elektroden (E11, E21, ...) zur Änderung der Polarisationstransformation an Steuerspannungen (Uij) anschaltbar sind, und mit einer ebenfalls kammerförmig ausgeführten Masse-Elektrode (M), deren Zinken ebenfalls quer zum Wellenleiter (WG) verlaufen und abwechselnd zu den Zinken der anderen Elektroden angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (Eij, i = 1, 2; j = 1, ..., n) individuell oder in mehr als zwei Gruppen gruppenindividuell ansteuerbar sind.
2. Polarisationstransformator (TRF1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils Zellen (Pj) aus zwei Modenwandler-Elektroden (Eij; i = 1, 2; j = 1, 2, ..., n) mit wechselnden Abständen zwischen je zwei dieser benachbarten Modenwandler-Elektroden (E1j und E2j bzw. E2j und E1(j+1)) vorgesehen sind.
3. Polarisationstransformator (TRF2) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils Zellen (PVj) aus zwei Modenwandler-Elektroden (Eij, i = 1, 2; j = 1, 2, ..., n) vorgesehen sind und daß zwischen zwei Zinken der Masse-Elektrode (M) zwei Zinken – je eine von jeder Modenwandler-Elektrode (E1j und E2j) – angeordnet sind.
4. Polarisationstransformator (TRF3) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Modenwandler-Elektroden (E1j, E2j) breitere Phasenschieber-Elektroden (EPj) angeordnet sind, die individuell oder in mehreren Gruppen gruppenindividuell ansteuerbar sind.
5. Polarisationstransformator nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Phasenschieber-Elektrode (EPj) jeweils den Bereich zwischen den Modenwandler-Elektroden einer Zelle und zwischen zwei Zellen (P1, P2, ...) umfaßt.
6. Polarisationstransformator (TRF4) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Wellenleiter (WG) mindestens einmal durch Reflexion gefaltet ist.
7. Polarisationstransformator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er als Kompensator (KOM) in einer Empfangseinrichtung (RX) vorgesehen ist und daß die als Regelkriterium verwendete Spannung (U1, U2) durch Filtern und Gleichrichtung des Basisbandsignals (BB) gewonnen wird.
8. Polarisationstransformator nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß er als Emulator (EMU) vorgesehen ist und externe Einstellmöglichkeiten (ER) aufweist.

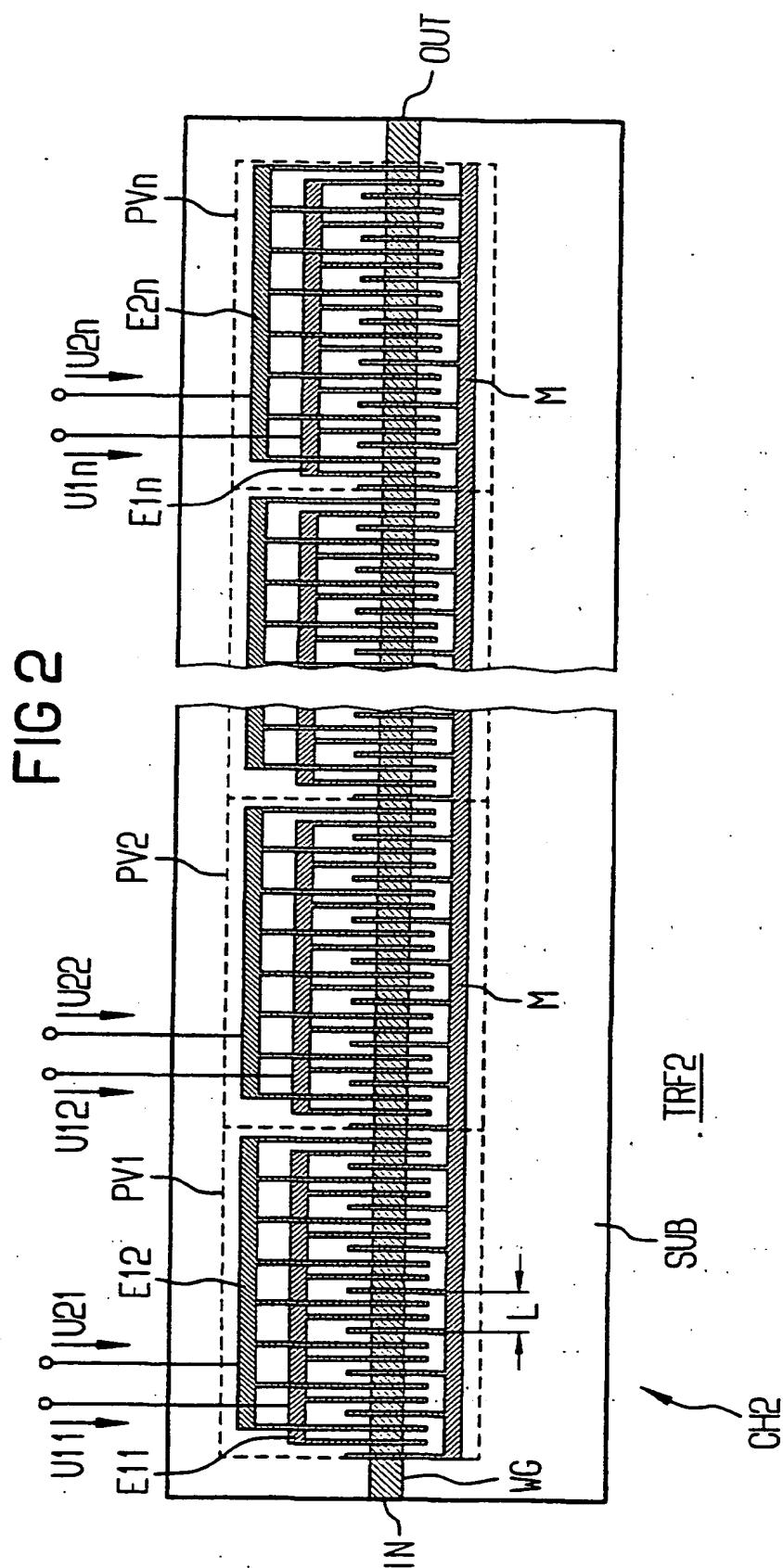
---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

FIG 1





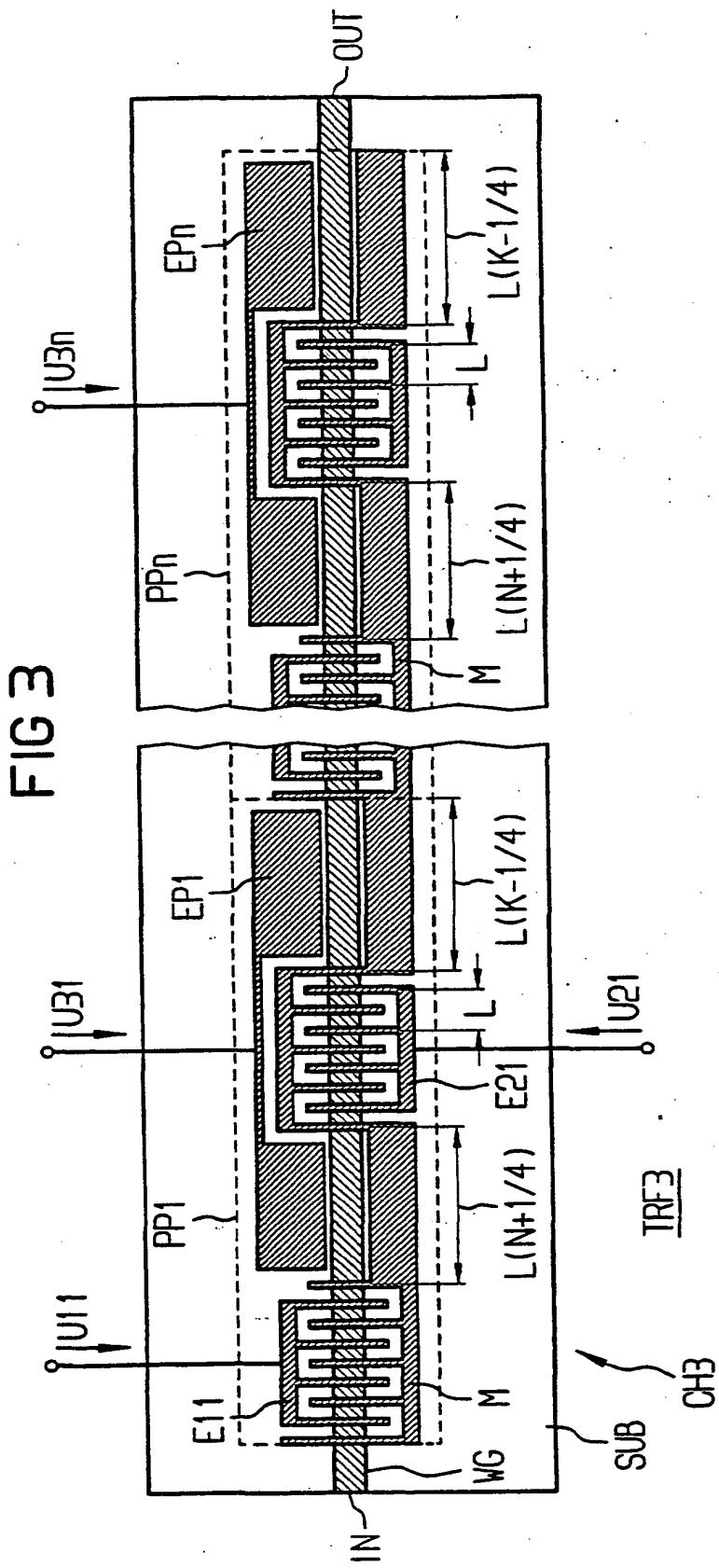


FIG 4

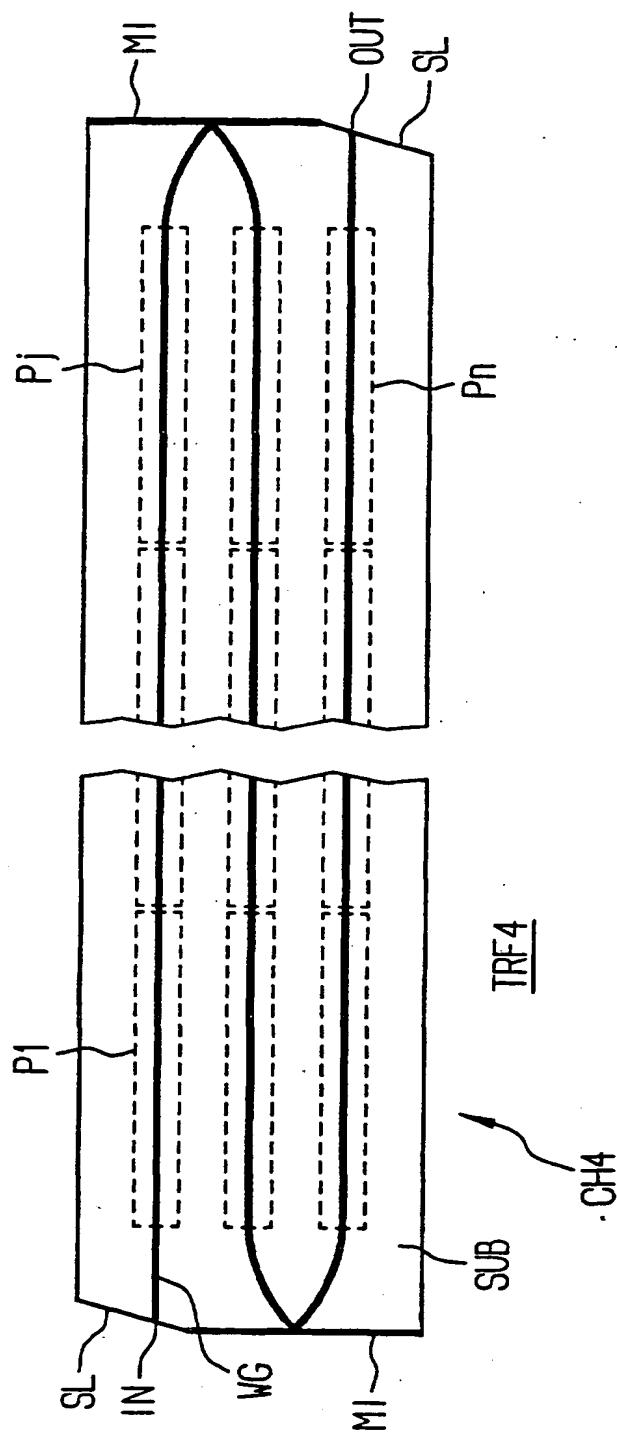


FIG 5

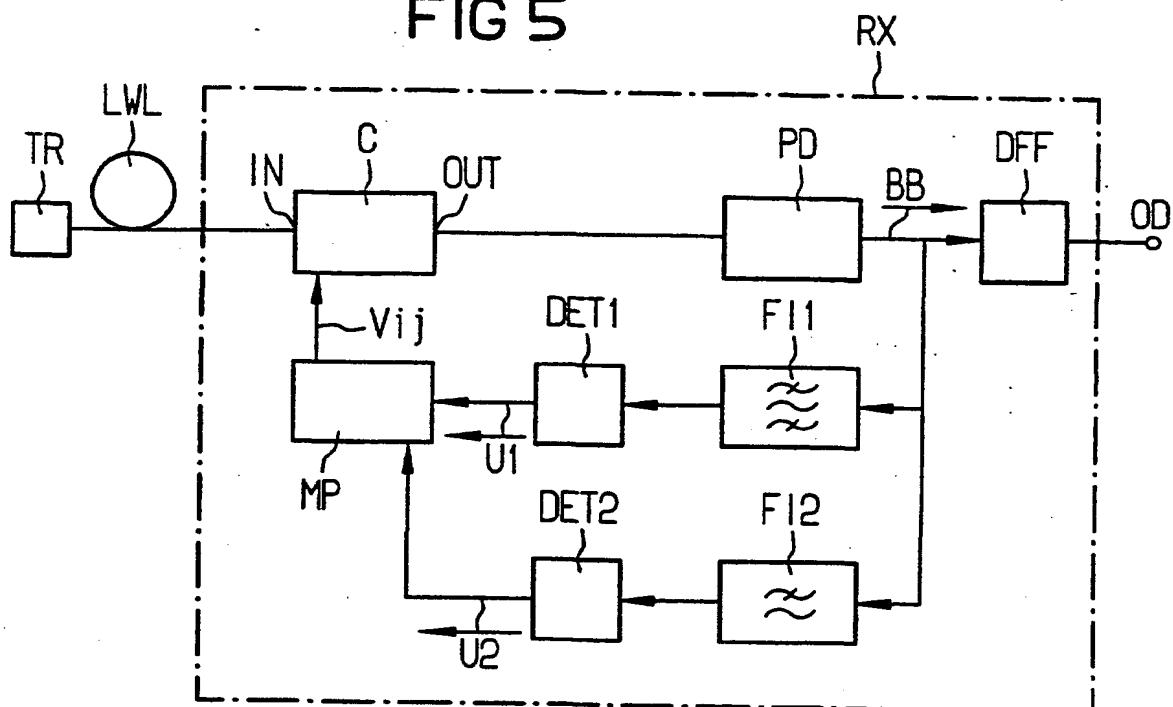


FIG 6

